

## 식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배

농업은 우리가 필요로 하는 식물을 인위적으로 넓은 지역에서 재배하여 필요한 식량과 채소 등 먹거리를 얻는 것을 말한다 할 수 있다. 인구가 증가함에 따라 식량을 생산하기 위한 농경지의 면적이 증가 되어 왔다. 이러한 단일작물의 재배면적이 늘어남에 따라 이들 식물을 기주로 하는 병해충 발생이 증가되었으며 이에 따라 병해충 방제를 위하여 농약을 개발하여 살포하게 되었다. 이러한 농약 살포는 대상 병해충 뿐만 아니라 먹이사슬 관계에 있는 다른 이로인 벌레나 미생물 등을 함께 죽이는 결과를 가져와 생태계에 심각한 영향을 미쳤다. 또한 인위적인 생태계의 변화는 결국 환경파괴라는 큰 문제에 귀결 될 수밖에 없다. 이러한 농업의 특성은 자연생태계에 인위적으로 우리가 원하는 식물을 대규모 면적에 재배함으로써 발생한다. 따라서 농업을 자연생태계와 단절시켜 자연생태계를 보호하는 의미에서 시작된 작물 공정 생산시스템의 하나가 식

자에 대한 피해로 귀결되고 있다. 그리고 최근 몇년사이 전 세계적으로 발생하고 있는 이상기후가 농업생산에 미치는 영향은 매우 심각하여 농업생산량이 급감하고 있고, 우리나라를 포함한 주변국을 보더라도 여름철 기온상승과 더불어 여름철기 2/3이상이 강우가 계속되는 기상변화로 하우스는 물론이고 노지에서 생산하는 모든 작물의 수확량이 급격히 감소하여 농작물 확보 대란을 예고하고 있다.

따라서 이러한 악순환의 연결 고리를 끊고 소비자에게 안전한 농산물을 공급하고자 할 목적으로 수경재배를 이용하여 작물을 대량 생산할 목적으로 도입된 것이 식물공장이라고 할 수 있다.

식물공장(plant factory)은 시설내에 광, 온도, 습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소에 관계없이 환경제어 및 자동화를 통하여 공장생산과 동일하게 작물을 계획 생산할 수 있는

## 특집 ■ LED

# 식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배

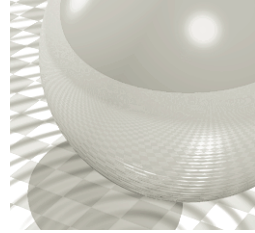
이상우\*

물공장이다. (Despommier와 Ellingsen, 2008).

다른 한편으로는 농업생산은 기후와 토지 그리고 환경의 영향을 받기 때문에 생산이 불안정하고 계절에 따라 재배가 제한 받을 수 밖에 없다. 최근에 들어서는 하우스를 설치하여 주년재배가 가능하게 되었다. 그러나 환경적인 요소중 온도는 하우스를 설치하여 극복할 수 있으나 겨울철 일조부족은 인공광을 이용하지 않는한 문제가 되고 있으며 재배면적이 증가함에 따라 병해충 발생이 심하여 질 수밖에 없다. 또한 이러한 병충해를 방제하고자 화학농약 살포가 이루어 지며 이러한 농약살포는 최종 생산물의 소비

시스템이다. 식물공장은 기후변화에 대응하여 안정적 식물 공급, 식품 안전성에 대한 관심 증가, 농업인력의 감소 및 고령화 인력의 활용, 식물공장을 통한 생명공학 연구, 녹색 도시 및 녹색기술과의 접목 및 식물공장 자체 플랜트 개발 및 수출 등 다양한 목적으로 개발이 시도되고 있으며 궁극적으로는 극한지에서의 식물재배, 의학용 GMO (Genetic Modified Organims)식물의 대량생산에 그 활용이 클 것으로 생각된다. 이러한 밀폐형 식물공장에서 공간활용을 극대화시킬 목적으로 다단식으로 식물을 재배를 하고 있는데 이 경우 인공광이 절대적으로 필요하게 된다. 식물체에 최적의 파장을 생산하고 열이 적게 발생하며 소형의 조명장

\* 경기도농업기술원



치를 만들 수 있는 LED가 이러한 식물공장에 적합한 새로운 광원의 소재로써 이용되고 있다.

## 1. 식물공장의 분류

식물공장은 크게 태양광이용형 식물공장과 완전제어형 식물공장으로 나눌 수 있다. 태양광이용형 식물공장은 온실을 근간으로 태양광을 기본광으로 이용하여 식물을 재배하는 시스템으로 햇빛이 부족한 경우 보조 조명을 이용하여 광조건을 개선하는 시스템을 말한다. 태양광이용형 식물공장은 외계생태계와 단절되지 않고 공기와 환경이 자연 환경을 완전히 극복하지 못함으로써 병해충 발생에 의한 농약 살포 등이 문제시 되고 있다(손정익, 1997). 완전제어형 식물공장은 완전히 밀폐된 공간에서 인공광을 이용하여 식물을 재배하는 것으로 수경재배를 기본으로 하고 있다. 따라서 병해충이 발생하지 않아 농약을 사용하지 않아도 되고 파종에서 정식 그리고 수확에 이르기까지 자동화 생산 시스템을 설치하여 자동화 생산을 그 목적으로 한다. 최근들어 완전제어형 식물공장에서 식물재배 인공광으로 LED 사용이 시도 되고 있으며 앞으로 식물재배 LED 조명장치 개발과 LED가격 인하 등에 의하여 상용화가 진행 될 가능성이 높다.

## 2. 일본식물공장

일본의 식물공장은 형태를 구분할 때, 완전인공광형 34개소와 태양광인공광병행형 16개소로 총 50개의 시설이 있으며 재배품목은 상추류나 샐러드용 채소가 주를 이루고 있다(식물공장 사례집 2009년, NO1. 일본). 일본에서 식물공장 기술을 확보하여 건설하는 대표적인 회사에는 에스펙크믹크 주식회사, 주식회사 M식수경연구소, 카시마 건설 주식회사, QP 주식회사, JFE 라이프 주식회사, 주식회사 스프레드, 일본 아드반스트아그리 주식회사, 주식회사 페어리 엔젤, 마루베니 주식회사/주식회사 베르데, 미츠비시 화학 주식회사, 야채다업 연구소, ENZAN KOUBOU, Plant Factory Development Inc. 등의 업체가 있다(植物工場の現状と展望, 日本施設園芸協会 2009). 페어리엔젤 식물공장은 후쿠이현에 2009년 설립

되었으며 연간 500만주 이상의 채소를 생산할 수 있으며 1주당 200엔 이하의 상품을 출시하여 식물공장 채소를 확대 보급 시키고 있다(그림2). 니치아물산도 효고현 슈퍼를 중심으로 200엔 이하의 식물공장 양상추 판매를 시작하였으며, 큐피(주)는 식물공장 'TS-farm'을 개발하여 저렴한 비용으로 식물공장을 설치하여 경쟁력을 확보하였고(그림 3), 이를 통해 식물공장시설을 확대 보급하고 있다. 대일본농업(大日本興業)은 식물공장용도로 LED광을 사용할 수 있는 프레임 제작 판매하고 있으며 이는 조립식 프레임으로 좁은 실내에서 사용이 가능하며 높이 조절을 할 수 있어 공간활용을 극대화 할 수 있다. 식자재 공급사인 스프레드는 기후변화 등으로 인한 가격 변동 리스크 회피 차원에서 2008년 식물공장에 직접 참여하여 프릴양상추, 로메인양상추, 상추 등을 생산하여 대형마트나 호텔에 판매하고 있다. (주)미라이의 'Green Flavor' 식물공장은 파나소닉의 형광등을 채용하여 경쟁력을 확보, 도심 곳곳에서 점포를 개설하고, 점포 내 식물공장 시설에서 직접 재배한 채소류를 판매하고 있으며, 현재, 일본은 정부의 보조금제도를 도입하여 시장 활성화에 총력을 기울이고 있으며, 2009년 식물공장 시장이 95(약 1,225억원)억 엔에서 2020년에는 417(약 5,468억원)억 엔으로 성장할 전망이다이며, 이러한 성장에는 보조금제도가 가장 큰 원동력으로 작용하는 것으로 추정되고 있다.

## 3. 우리나라 식물공장

우리나라의 식물재배시스템은 이제 시작하는 초기 단계로서 시범적으로 식물공장이 운영되고 있다. 일부 업체에서 식물공장 시스템에 대한 특허를 가진 상태이지만 완전제어형 무인자동화된 식물공장은 없는 상황이다. 식물공장 시스템은 고가의 시설비가 투자되어야 하는 단점이 있어 생산을 목적으로 하는 경우 쉽게 접근할 수 없으며, 재배작물에 대한 세부적인 연구가 병행되지 않아 다양한 작물로의 적용이 어렵다. 농촌진흥청은 남극 세종기지에 컨테이너형 식물공장을 설치하여 가동중에 있으며 국내에서 컨테이너형 식물공장을 제품화한 업체는 파루, 와이즈산전 등이 있다. 인성테크는 용인시 죽전에 태양빛을 전혀 사용하지 않는 '완전인공광형' 과 태양 빛을 부분적으로 활용하는 '태양광인공광 병행형' 두 종류를 다 시공하였다. 또한 경

## 식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배

기동농업기술원은 태양광발전과 컨테이너식물공장을 연계하여 친환경 식물공장을 구축하여 LED 식물조명 연구와 로봇을 이용한 식물공장 자동화 생산시스템에 대한 연구를 추진중에 있다.

### 4. 식물재배 인공광

완전제어형 식물공장에서 사용되고 있는 광원은 백색형 광등, 3파장형광등, 메탈할라이드, 고압나트륨, LED 조명이 사용되고 있다. 고압나트륨(High pressure sodium lamp) 조명은 관안에 나트륨, 수은, 크세논 가스 등이 혼합되어 있는 것으로 광합성방사 효율이 높다. 적색과 청색의 가시광선 변환효율이 30%정도로 높아 식물공장에서 많이 사용해 왔다. 그러나 적색과 청색의 비율이 적고 주 피크가 589nm에서 파장을 형성하여 식물광합성 효율이 떨어지고 열이 많이 발생하여 식물과 일정한 거리를 두어야 하며 공조비용이 증가하는 단점이 있다. 메탈할라이드(Metal halide)는 고압수은 조명에 인듐, 탈륨, 나트륨, 등의 할로겐화합물을 첨가한 등이다. 파장은 가시광 전반에 분포하여 고압나트륨보다 식물재배효과가 우수하다. 고압나트륨등에 비교하여 발광효율이 낮고 수명이 짧기 때문에 식물공장에서는 사용하지 않는다. 형광등은 식물공장에 많이 사용되는 조명으로 다단식재배에서 식물에 근접 조명이 가능하나 발광효율이 20%정도로 광합성에 유효한 스펙트럼이 적다(高辻正基, 1997)

### 5. 농업에서의 LED 조명

일반 온실에서는 특별한 이상기후가 아니면 태양광의 빛을 이용하여 충분한 광에너지를 흡수할 수 있다. 그러나 식물공장에서 다층재배인 경우 태양광으로는 식물재배에 충분한 광량을 확보하기가 어렵다. 이러한 이유로 식물재배에 충분한 광을 확보하기 위해서는 인공광을 이용하여야 하는데 고압나트륨 조명 등은 열 발생이 많아 다층재배에 사용할 경우 조명장치 위에 있는 식물은 고온 피해를 받기 쉽다. 따라서 열 발생이 적은 LED조명을 사용할 경우 이러한 문제를 해결할 수 있다. LED조명은 파장 폭이 작고 단색광이므로 식물재배에 쉽게 사용할 수 있다. 또한

식물의 광합성에 필요한 파장만을 갖는 단색광으로 특정 파장의 광질 선택가능하고 식물재배에서는 광합성에 효과가 있는 적색(660nm), 청색(450nm) 두가지 파장대를 주로 사용하여 효과적으로 식물을 재배할 수 있으며 조명제품을 소형화 하여 비교적 좁은 공간에서도 활용할 수 있다. 또한 전력소모량이 적어 경제적이고 열선을 방사하지 않으며 수명은 반영구적이라고 할 수가 있다.

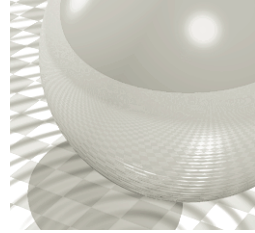
LED(발광다이오드, light-emitting diode)는 양과 음의 성질을 띠는 두 개의 화합물을 이용 접합하여 전기가 흐르면 빛이 발생하는 원리를 이용한 것으로 접합하는 화합물의 종류에 따라 빛의 파장이 달라져 이론적으로는 모든 파장대의 빛을 만들어 낼 수 있다. 따라서 식물재배에 있어서 LED는 단색광의 조명이 가능하여 파장별로 식물체 처리 효과를 검증할 수 있다. 또한 LED의 식물재배 광원으로 이용하면 수명이 길며, 작고, 소비전력이 적으며, 열이 많이 생성되지 않고 점등방법이 간단하고 근접조사로 고광도 조명이 가능한 장점을 가지고 있기 때문이다. 또한 특정 단색광을 이용하여 광합성 촉진, 개화조절, 착색증진, 당도와 사포닌 증가, 곰팡이 발생억제 등의 기능을 수행할 수 있다. 각파장별 구체적인 작용은 표3과 같다. 식물은 빛을 이용하여 이산화탄소를 고정하여 탄수화물을 합성하는데 식물의 탄수화물 합성량은 빛의 광량에 의하여 결정된다. 식물체에 광합성에 관련된 광량은 일반적으로 사용하고 있는 조명의 조도의 단위인 룩스 또는 루멘 등은 사용하지 않고 있으면 광합성유효광량자속(PPFD), 광합성유효방사 등의 단위로 표시한다. 최적 광합성 유효광량자속은 식물마다 차이가 있는데, 작물별 광포화점을 살펴보면 토마토, 수박은  $843\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 오이는  $121\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 양상추는  $302\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 난종류는  $121\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 인삼은  $145\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

#### 광포화점 [光飽和點, light saturation point]

식물의 광합성 속도가 더 이상 증가하지 않을 때의 빛의 세기를 말한다. 광합성 속도는 빛의 세기에 비례하지만 광포화점에 이르면 속도가 증가하지 않는다. 이산화탄소의 양, 온도 등도 이와 같은 현상을 보인다

#### 광합성유효방사 (Photosynthetically active radiation ; PAR)

식물의 광합성에 이용되는 파장범위는 400nm~700nm으로 가시광선 범위인 380nm~760nm와 유사한 파장범위를 보이고 있는데 식



물분야에 있어서는 가시광이라고 하지 않고 광합성유효방사(PAR)라고 함, 이 파장역에서 광은 광합성 뿐만 아니라 광형태형성 반응을 유도한다. 이 파장역은 일반적으로 청색광(400nm~500nm), 녹색광(500nm~600nm), 적색광(600nm~700nm)의 3파장으로 나눌 수 있다. 광합성에 유효한 광량의 지표에는 광합성유효광량자속밀도(Photosynthetic photon flux density : PPF)를 사용한다. 단위는  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이다. PPF와 PPFD는 엄밀하게 말하는 의미가 차이가 있지만 광을 측정하는 곳에서의 광의 강도를 표시하는 범주에서는 서로 같은 의미로 사용되고 있다.

### 6. 식물의 광반응

식물의 광합성에 의해 에너지가 만들어지고 식물은 그 에너지를 이용하여 성장하지만 그 외의 광반응으로는 광형태형성 (photomorphogenesis)이 있다. 식물체에는 파이토크롬 (phytochrome)이라는 색소가 있어 광에 의해 종자 발아, 꽃눈 분화, 개화, 자엽의 전개, 엽록소 설정, 절간신장 등의 변화를 유도한다. 광형태형성에 관여하는 파이토크롬은 약광조건하에서는 660nm의 적색에서 활성화 되어 730nm 부근의 원적색광에 의해 불활성화 된다. 강광조건에서는 420nm의 청색광에서 활성화 된다. 광합성(Photosynthesis)에는 식물체의 엽록소(chlorophyll)가 관여하는데 엽록소에는 엽록소a 와 엽록소b가 있으며, 엽록소의 흡수스펙트럼을 살펴보면 그림4에서 보듯이 660nm 부근과 450nm 부근에서 흡수되는 광량이 높아서 이 두 개의 파장이 광합성에 효율적으로 사용되고 있다는 사실을 알 수 있다.

식물의 광수용체 색소 및 광수용체 흡수파장과 생리반응을 살펴보면 카로티노이드(Carotenoid) 색소는 청색파장인 400nm~530nm에서 반응하며 주로 광포집기능을 보조하여 광합성에 관여한다. 크립토크롬(cryptochrome)은 청색 450nm에서 반응하는데 배측신장을 억제하고 안토시아닌 색소 합성을 저해하거나 화아형성을 촉진하는 역할을 하였다. 또한 포토트로핀(phototropin) 450nm에서 반응하는데 굴광성 등에 관여한다. 또한 단광에서 식물의 줄기 신장이 적색광과 청색광 사이에서 차이가 나는데 원예작물을 재료로 적색과 청색광원에서의 절간신장의 차이는 표1과 같다.

또한 원예작물의 9종에 대한 LED 단색광에서 배측과

상배측 그리고 본엽절간 신장의 차이를 조사해 보면 표2와 같다. 표2는 해바라기(*Helianthus annuus*), 가지(*Solanum melongena*), 배추(*Brassica pekinensis*), 토마토(*Solanum lycopersicum*), 상추(*Lactuca sativa*), 무(*Raphanus sativus*), 브로콜리(*Brassica oleracea*), 고추(*Capsicum annuum*)를 256공 플러그트레이에 파종한 다음 광처리한 결과이다. 청색은 470nm 녹색은 525nm, 적색은 660nm의 파장을 사용하였고 광량은  $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  24℃로 재배하였다. 그 결과 작물에 따라 배측의 신장 결과가 달랐다. 적색에서 신장이 촉진된 것은 무, 토마토, 상추였으며 일반적으로 청색광은 하배측의 신장을 억제하지만 배추, 해바라기, 브로콜리 등의 실험결과는 신장억제가 관측되지 않았다(雨木若慶 & 平井正良, 2008).

**광형태형성 (photomorphogenesis)**  
 빛의 상태에 따라 발생, 분화과정이 제어되는 현상. 종자, 묘자의 휴면해제, 세포분열의 시기나 방향, 성장 속도, 세포와 기관분화 등 여러 가지 과정이 빛의 영향을 받는다. 이러한 반응은 빛 환경에 대한 적응반응이라 생각되며, 빛의 파장, 강도, 조사시간, 조사방향, 편광 방향 등에서 환경에 관한 정보를 읽어낼 수 있다. 빛의 흡수는 파이토크롬 및 근자와-청색광흡수 단백질이 주로 작동하고 있다. 광형태형성반응은 파이토크롬이 관여하는 반응에서는 필요 광량에 따라 극히 적은 광량으로도 일어나는 초저광량반응(MLFR), 전형적인 광기역성이 나타나는 저광량반응(LFR), 장시간의 조사가 필요한 고조사에 내지반응(HIR)으로 나눌 수 있다.

### 7. LED를 이용한 기능성 채소 생산

채소의 비타민, 폴리페놀, 항산화물질 등의 기능성 채소 생산을 위해서 400nm이하의 파장을 이용한다. 400nm이하의 단파장을 생육기간동안 식물에 조사하면 식물체가 스트레스를 받아 생육이 지연되거나 품질이 떨어지기 때문에 수확직전에 처리하여 최대한 생육에 영향을 적게 주면서도 기능성 물질의 함량을 증가시킬 수 있는 재배 방법이 연구되어 왔다. 최근 연구에 의하면 적색과 녹색 청색의 혼합광 처리에 있어 청색광이 강할 수록 적무에서 생육이 가장 좋았으며(그림 1), 비타민 B군 (B6, B9, B12)함량은 자연광에 비하여 3배 증가 하였으며 비타민 C는 4배 증가하였다(경기도농업기술원, 미발표 자료).

## 식물공장 LED 인공광 이용한 식물재배

### 8. 식물재배 전용 LED 패키지

이와같이 LED 빛의 파장은 식물에 다양한 영향을 미치고 있다. 따라서 식물재배 LED 조명을 효과적으로 활용하기 위하여 복수의 파장 칩을 이용한 조명시스템이 필요하다. 적외선, 자외선, 적, 청, 황, 녹색의 빛을 발생시키는 다수의 발광 칩 중에서 동일한 파장영역 또는 서로 다른 파장영역을 갖는 다수의 발광칩이 실장되어 식물의 재배에 도움을 줄 수 있는 발광패키지를 구성하면 보다 효과적으로 식물에 적용할 수 있다.(그림 6). 단일 발광패키지에 복수의 발광 칩을 구성하여 복수의 광을 발생 및 조합함으로써 제조원가를 단일칩에 비하여 35% 절감가능하며 집적도를 44% 향상시킬 수 있으며 조립비용을 90% 절감할 수 있다. 또한 여러 파장대의 광을 발생시킬 수 있으므로 설치면적의 감소와 생산단가 및 전력소모를 줄일 수 있다. 자외선, 청색광, 및 녹색광을 발생시키는 발광 칩 또한 애노드 및 캐소드 전극이 각각 상단 및 하단에 형성된 구조로 될 경우 하단에는 라인없이 전극에 연결되는 형태로 구현될 수 있다. 이러한 복수칩 단일 패키지에 의하여 식물의 향산화 물질 색소 형성, 개화 유도, 광합성 유도, 생육 촉진, 및 종자 발아 유도, 배측신장억제 등의 특정한 기능을 가지고 있는 최적의 파장 영역의 광을 개별적으로 발생시키고 각각 그 광도를 조절함으로써 식물의 성장 단계에 맞추어 식물 성장을 촉진시킬 수 있다(그림 7, 경기도농업기술원, 특허출원중). 이러한 식물전용 LED 패키지는 앞으로 지속적으로 개발되어 효과적으로 식물을 재배하고 재배단계별로 최적의 광량과 파장을 조사 할 수 있도록 발전시키는 것이 중요하다고 생각한다.

### 9. 식물재배 LED 개발 방향

#### 1) 고출력 저발열 LED 조명장치 개발

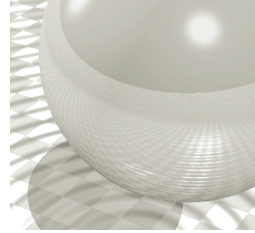
실내 또는 지하공간에서 식물을 재배할 경우 자연광이 부족하기 때문에 인공광을 사용하지 않으면 식물재배가 불가능한 경우가 많다. 지하공간이나 실내는 공간적으로 제한을 받기 때문에 조명에서 열이 많이 발생하면 전체적으로 온도가 상승하거나 공조부담이 증가하기 때문에 발열이 높은 조명은 사용에 제한을 받을 수 밖에 없다. 따라서 식물 재배에 충분한 광량을 발생시키면서도 발열이 적

은 LED칩 또는 패키지 개발이 우선적으로 이루어져야 하며 칩에서 발생하는 열을 포집하여 효율적으로 냉각할 수 있는 방열시스템 개발 또한 필요하다. 벼, 토마토 등은 호광성 작물을 재배할 경우에는 다른 작물보다 광량이 높아야만 정상적인 생육이 가능한데 이러한 작물 재배를 위해서는 고출력, 고휘도 LED 개발이 되어야 하며, 현재, 고가로 인하여 LED 조명을 사용하고 싶어도 시설비 부담이 높아 사용하지 못하는 현실을 감안 할때 농업용 LED 조명의 상용화를 위해서는 LED 생산기술이 발달되어 저가의 LED를 공급할 수 있는 산업망을 구축하여야 한다.

#### 2) 식물재배 및 경관용 백색 조명장치 개발

지하 및 건물에서는 경관용 원예식물이 많이 재배되고 있다. 이러한 경관식물을 재배하기 위해서는 발열이 심한 고압나트륨 조명 보다는 발열이 적고 소형의 조명 장치 제작이 가능한 LED가 활용성이 크다. LED 조명은 기존의 적색이나 청색의 LED칩을 사용할 경우에는 식물체가 큰 어려움이 없이 자랄수 있다. 그러나 사람이 식물을 볼때 제 색을 볼 수 없고 눈이 쉽게 피로해 지기 쉽다. 따라서 경관과 식물생장을 동시에 만족시킬 수 있는 백색 파워 LED 조명장치 개발이 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 현재의 LED 백색조명은 청색 LED칩에 형광물질을 이용하여 파장을 녹색쪽으로 이동시켜 백색을 구현하거나 적색, 녹색, 청색의 세가지 LED칩을 사용하여 백색을 구현하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 형광물질을 이용하는 방법은 식물이 잘 이용하지 못하는 녹색파장이 많아지고 실제로 식물이 이용하는 660nm의 파장이 적어 식물생육에는 적합하지 못하다(그림 5). 따라서 LED를 이용한 백색구현에 있어서도 660nm의 파장에 가깝도록 파장을 이동시켜 경관 및 식물생장을 동시에 추구할 수 LED 칩을 개발하는 것이 필요하다.

식물공장이 가장 많이 설치된 일본에서도 LED를 식물생장 조명으로 사용하는 곳은 많지 않다. 그 이유는 LED 조명의 가격이 고가이고 식물공장에 사용하기에는 표준화가 되어있지 않기 때문이다. 그러기 때문에 앞으로 식물공장에서 LED 조명의 시장성은 넓다고 할 수 있다. 앞으로 효율적으로 식물공장에 LED조명장치가 우위를 점하기 위해서는 기존의 LED 패키지를 단순히 적용하는 것이 아니라 식물재배에 적합하도록 패키지와 어레이 구조를 식물재배에 맞도록 최적화 할 수 있는 기술이 개발되어야



할 것이다. 또한 식물공장에 가장 시급하게 필요한 저발열  
과 고효율 기술을 개발하여 다른 어떤 조명보다도 효율성  
과 가격적인 면에서 경쟁성을 확보해 나간다면, LED조명

은 식물공장에서 가장 중요한 조명으로 사용될 것으로 생  
각한다.

표 1. 각종 원예작물의 있어서 청색광 및 적색광에서의 경질간 신장 차이(雨木若慶 등, 2008)

| 경질간장의 비교            |                 |
|---------------------|-----------------|
| 청색광 > 적색광           | 청색광 < 적색광       |
| 가지, 해바라기, 고추, 브로콜리, | 무, 상추, 피망, 토마토, |

표 2. 원예작물 줄기 신장에 대한 단색광 조명의 영향 (雨木若慶 등, 2008)

| 조사광에서의<br>절간비율 | 측정부위  | 배추   | 해바라기 | 브로콜리 | 가지   | 고추   | 배추   | 토마토  | 상추   |
|----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BL/RL          | 하배축   | 5.63 | 3.00 | 1.54 | 0.64 | 0.50 | 0.61 | 0.54 | 0.25 |
|                | 상배축   | 3.00 | 1.82 | 1.18 | 2.20 | 0.29 | 0.17 | 0.67 | 0.57 |
|                | 본엽제절간 | 2.00 | 3.00 | 1.27 | 2.50 | ns   | 0.60 | 0.77 | 0.25 |

BL/RL : 청 LED 조명에서의 절간장/ 적LED 조명에서의 절간장의 비율을 표시함  
NS(not significant) : 통계적 유의성이 없음을 표시

표 3. 파장별 주요 작용 효과

| 파장(nm) | 광선종류    | 주요 작용                                       |
|--------|---------|---|
| 자외선    | 100-280 | UV-A<br>주방기구 소독, 인체에 유해                     |
|        | 280-315 | UV-B<br>식물 생육 억제 및 형태 변화                    |
|        | 315-380 | UV-C<br>항산화 물질 강화, 색소 형성                    |
| 가시광선   | 380-400 | 보라색<br>파장이 가장 짧은 가시광선, 뚜렷한 작용 없음            |
|        | 400-420 | 남색<br>특별한 작용 없음                             |
|        | 420-470 | 청색<br>작물 형태 및 생육변화에 영향, 옷자람 억제 개화유도, 광합성 유효 |
|        | 470-570 | 녹색<br>안전광, 광합성 유효                           |
|        | 570-610 | 황색<br>광합성 유효, 해충 회피                         |
|        | 610-650 | 주황색<br>생육촉진 작용, 광합성 유효                      |
| 적외선    | 650-700 | 적색<br>생육촉진, 광합성 유효, 옷자람 억제                  |
|        | 700-800 | 근적외선<br>옷자람 촉진(줄기신장), 발아억제                  |
|        | 800 이상  | 원적외선<br>열선                                  |

# 식물공장과 LED 인공광 이용한 식물재배



그림 1. LED 단파장처리시 브로콜리 생육상황 비교



그림 2. 후쿠이의 페어리엔젤 식물공장에서 생산 판매되는 채소는 상추, 썬갓 등으로 백화점 전시장 슈퍼마켓 등에서 판매되고 있었음  
(식물공장주소 : 福井県三方郡美浜町大敷21-20-1)



그림 3. 저가형 식물공장 TS-Farm 으로 고압나트륨 등을 이용한 양상추재배 전경  
(식물공장주소 : 京都府南丹市園部町黒田3-8 )

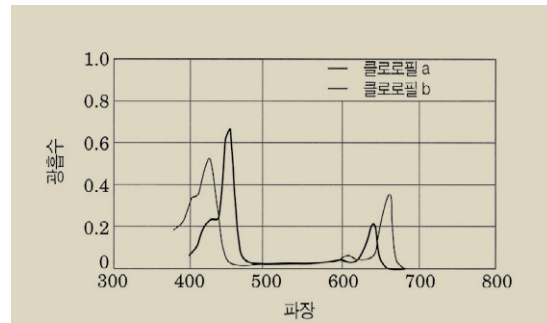


그림 4. 클로로필 a와 클로로필 b에서의 광흡수 패턴의 차이

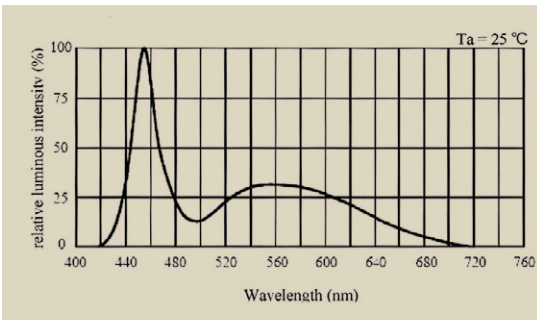


그림 5. 청색칩과 형광물질을 이용한 백색조명의 광파장 특성

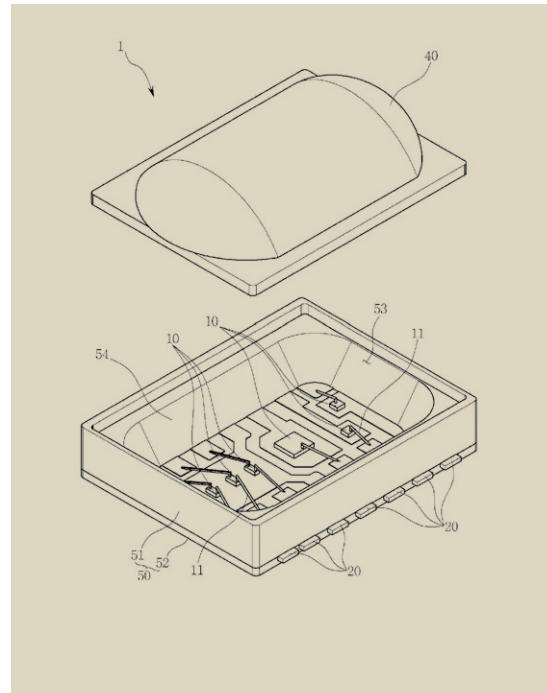


그림 6. 6개의 다중칩을 이용한 식물전용 LED 패키지의 구성

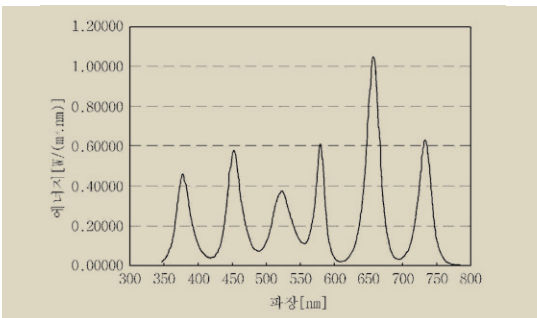
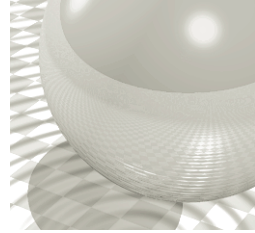


그림 7. 6개의 다중칩을 이용한 LED 패키지 광파장 특성



## 참고 문헌

1. 雨木若慶と平井正良. 2008. 単色光下における園藝植物の形態形成ばんのう反応. 29~38p ; 後藤英司 アグリフォニクス LEDを利用した植物を ぞして 298p. シーエムシー出版. 日本
2. 高辻正基(강승원 등역).2008, 식물공장 129pp. 월드사이언스, 대한민국.
3. 高辻正基.1997.植物工場ハンドブック. 290pp. 동해대학출판사, 일본
4. Despommier, D and E. Ellingsen. 2008. The vertical farm : The sky-scrafer as vehicle for a sustainalbel urban agriulture. CTBUH 8th World Congress. p2~8.
5. 손정익. 1997. 한국농업에서의 식물공장. 원예학세계 2 : 10~11